

한국형 부영양화지수를 이용한 소옥천 유역의 부영양 특성 분석

박재범·갈병석[†]·이철구*·홍선화*·최무진*·서희승*

(주)다운솔루션

*국립환경과학원 금강물환경연구소

Analysis of the Trophic Characteristics of the SoOak River Watershed Using the Korean Trophic State Index

Jaebeom Park·Byungseok Kal[†]·Chulgu Lee*·Seonhaw Hong*·Moojin Choi*·Heeseung Seo*

Daon Solution Co., Ltd

*Geum River Environmental Research Center, National Institute of Environment Research

(Received : 15 October 2018, Revised: 25 October 2018, Accepted: 25 October 2018)

요약

소옥천 유역 내 본류 8개 지점의 수질 모니터링 자료를 이용하여 한국형 부영양화지수(TSI_{ko})를 산정하고 COD, T-P, Chl-a에 의해 계산된 인자별 TSI_{ko}를 이용하여 하천에 대한 환경특성을 분류하고 평가하였다. 소옥천 유역의 경우 수심이 얇고 강우시 비점오염 유입, 하수처리장 방류수 유입, 체류시간 증가 등으로 조류가 성장하기 좋은 조건을 갖추고 있어 연중 중영양 이상의 영양 상태를 보이고 있다. 특히 대청호 유입 지점인 추소 지점의 경우 수리학적 특성으로 인해 수질이 악화되어 부영양 상태를 나타내고 있었다. 따라서 소옥천에 대한 정밀 모니터링을 통해 원인분석과 이에 따른 수질개선대책 수립이 우선적으로 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 부영양화, 한국형 부영양화지수, 소옥천, 수질

Abstract

The Korean Eutrophication Index(TSI_{ko}) was estimated using water quality monitoring data of eight main sites in the SoOak River watershed. The environmental characteristics of rivers were classified and evaluated using the TSI_{ko} for each factor calculated by COD, T-P, and Chl-a. There is a good condition for the algae to grow due to shallow water depth, inflow of non-point source pollution during rainfall, influx of sewage treatment effluent and increase of residence time. It shows trophic state more than mesotrophication year round. Especially, in case of Chuso point, which is the inflow point of Daecheong Lake, the water quality deteriorated due to hydraulic characteristics and showed the eutrophic state. Therefore, it is necessary to establish the measures to improve the water quality through the precise monitoring of SoOak River.

Key words : Eutrophication, Korean Trophic State Index, SoOak River, Water Quality

1. 서론

토지경작활동, 도시하수 등의 인간 생활의 부산물로 인해 강이나 호소와 같은 수체에서 발생하는 가장 일반적인 오염은 질소와 인과 같은 영양염류의 과다 유입으로 인한 부영양화 현상이다. 이런 부영양화 현상은 수생태계에 많은 부작용을 유발한다. 유해 조류의 과다 증식은 수질을 악화시킬 뿐만 아니라 레크레이션 활동, 산업과 농업 목적의 용수공급, 식수로서의 물의 활용성을 저해한다. 과거 부영양화는 강이나 호수에서 발생하는 자연스러운 과정으로 여

겼지만 최근 수체의 관리 측면에서 중요한 문제로 인식하기 시작하였다. 이와 같은 수체의 부영양화를 이해하고 평가하는 것은 수질개선 계획 수립을 위한 중요한 단서를 제공하므로 평가기법에 대한 필요성이 요구되었다.

부영양화 지수는 강이나 호소간의 비교 뿐만 아니라 강이나 호소의 변화를 평가함에 있어 수치화가 가능하고 간단하게 수질환경을 파악할 수 있는 방법으로 미국이나 일본 등에서 호소의 수질 평가나 예측에 이용하고 있다. Carlson(1977)은 Chl-a 및 T-P 농도를 기반으로 호소의 영양상태를 구분하기 위한 부영양화지수(Trophic state index, TSI)를 제시하였다. 영양상태를 0~100의 수치로 나타내어 10씩 증가함에 따라 투명도가 1/2로 감소하며 투명도가 64일 때 TSI가 0인 것으로 가정하였다. OECD(1982)는 Carlson의 TSI를 기반으로

[†] To whom correspondence should be addressed.
Daon Solution co., Ltd.
E-mail: kalbs1@naver.com

부영양의 기준을 제시하였다. 그러나 Carson의 부영양화지수는 판정에 사용되는 T-P, 투명도, Chl-a 사이의 양적관계와 부영양화가 인간에게 미치는 영향정도는 지역에 따라 각기 다를 수 있다. 따라서 각 지역의 환경특성과 물이용에 따른 장해 정도를 고려한 판정목표와 기준이 만들어져야 할 필요가 있다 Aizaki et al.(1981)은 일본의 24개 호소 조사결과를 바탕으로 Chl-a와 투명도, Chla와 T-P 사이의 관계를 이용하여 수정된 TSI를 제안하였다. Cheng et. al.(2001)은 지역적 자료를 기반으로 생성한 회귀식을 이용하여 Carlson 수식의 일부 매개변수를 보정하였다. Salas and Martino(1991)는 열대 호소를 대상으로 T-P기반의 부영양화 지수와 평가기법을 제안하였다. T-P와 Chl-a의 기하평균을 대상으로 과영양, 중영양, 부영양에 대한 기준을 제시하였다. Pertruccio et al.(2006)은 Salas and Martino의 부영양화 지수가 Carlson의 TSI 보다 브라질 남동부의 7개 호소의 영양 상태를 적절하게 평가하는 것으로 분석하였다.

우리나라의 과거 호소 수질등급은 COD를 주요 기준으로 사용하고 있었으며 조류의 밀도를 나타내는 항목(Chl-a)이 포함되지 않아 부영양화를 적절히 평가하지 못하였다(Lee et.al. 2010; Park et.al, 2017). 이에 환경부와 국립환경과학원에서는 COD, Th-a, T-P 등의 각 항목의 확률분포함수를 비교하여 적용하는 방법으로 호소의 부영양화를 상대 평가하는 의미를 가지는 한국형 부영양화지수(TSI_{ko})를 개발하였다. Kim et al.(2012)은 금강유역의 6개 호소를 대상으로 한국형 부영양화지수를 이용하여 수질등급을 평가하였다. Ahn et al.(2013)은 금강수계 6개 수질오염총량 단위유역을 대상으로 목표수질 달성도를 평가함과 동시에 유기물, 조류의 밀도, 총인을 종합적으로 평가하여 부영양화지수(TSI_{ko})를 이용하여 금강유역의 부영양화 특성을 평가하였다. Kwon et al.(2014)은 국내 90개 주요 호소의 수질변동 특성을 분석하고 이러한 수질에 미치는 환경인자들의 영향에 대하여 분석하고 호소의 수리지형형태적 패턴이 호소의 수질에 유의한 영향을 미치는 것을 확인하였다. Park et. al.(2017)은 영산강유역의 12개 하천수 지점과 4개 댐 지점을 대상으로 4대강 사업의 완료와 광주광역시 시의 총인시설 가동의 영향을 검토하였다.

본 연구에서는 소옥천 유역의 부영양화 특성을 종합적으로 파악하기 위해 분류 8개 지점을 대상으로 한국형 부영양화지수(TSI_{ko})를 산정하고 영양 상태를 평가하였다. 또한 COD, T-P, Chl-a에 의해 계산된 TSI_{ko}(COD), TSI_{ko}(T-P), TSI_{ko}(Chl-a)를 이용하여 하천에 대한 환경특성을 분류하고 평가하였다. 이를 통하여 한국형 부영양화지수(TSI_{ko})를 이용한 하천의 수질관리를 위한 방법론을 평가하였으며 소옥천 유역의 분류 8개 지점에 대한 영양 특성의 지역적 차이를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 대상 자료

본 연구에서는 금강물환경연구소에서 하천 모니터링을

수행하고 있는 2017년 10월~2018년 9월까지의 자료를 대상으로 소옥천 분류 8개 지점에 대한 한국형 부영양화지수를 산정하고 특성을 분석하였다. 한국형 부영양화지수를 이용하여 부영양화 특성을 파악하기 위해 수집한 COD, Chl-a, T-P의 수질자료는 계절적 영향에 따른 하천지점별 부영양화 지수를 산정하기 위하여 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월), 겨울(12월~2월)로 분리하였다. 소옥천 부영양화 특성 분석을 위한 대상지점 현황은 Fig.1과 같다.

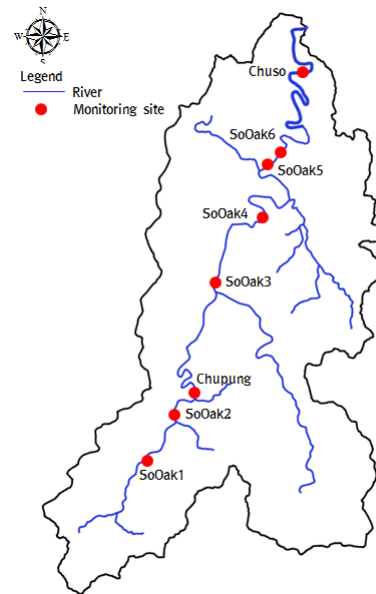


Fig. 1. The study area and location of monitoring sites in SoOak river

2.2 한국형 부영양화지수

부영양화 특성 분석을 수행하기 위한 부영양화지수는 국내의 인공호 특성에 맞게 국립환경과학원(2006)에서 개발한 한국형 부영양화 지수를 적용하였다. 한국형 부영양화지수에서는 우리나라 자연환경 특성을 고려하여 외부기원 유기물 특성을 고려한 COD, 내부생성 유기물로 식물프랑크톤의 현존량을 대신하는 Chl-a, 부영양화의 주요 원인이 되는 인자 T-P를 부영양화 평가항목으로 선정하였다. 한국에 분포하는 500여개의 호소를 대상으로 계절적 변동의 median이 가지는 분포 확률을 조사하여 평가 항목에 대하여 25th percentile, 75th percentile을 산출하였다. 지수의 분산을 결정하기 위하여 25th percentile을 지수 40으로 75th percentile을 지수 60으로 정하여 수질 항목간의 직선회귀식을 로그변환하여 선형화하고 지수값을 계산하였다(NIER, 2006).

해당기법은 상대평가와 비모수적 기법의 의미를 가지며 호소의 절대평가를 위하여 지수를 영양단계로 나누는 기준이 필요하다. 이러한 방법으로 개발된 COD, T-P, Chl-a의 부영양화 지수는 다음과 같다.

$$TSI_{ko}(COD) = 5.8 + 64.4 \log(COD\ mg/L) \quad (1)$$

$$TSI_{ko}(T-P) = 114.6 + 43.3 \log(T-P\ mg/L) \quad (2)$$

$$TSI_{ko}(Chl-a) = 12.2 + 38.6 \log(Chl-a\ mg/L) \quad (3)$$

위의 세 가지 TSI_{ko} 식을 종합하여 나타낼 경우에는 외부 기원과 내부기원에 각각 50%의 가중치를 주어 평균 TSI_{ko} 를 계산한다. 내부생성유기물의 지표는 조류의 밀도지표인 Chl-a이며 T-P는 조류의 밀도를 좌우하는 지표이므로 이 두 가지에 각각 25%의 가중치를 주어 다음과 같이 계산하여 사용한다.

$$\text{종합 } TSI_{ko} = 0.5 TSI_{ko}(COD) + 0.25 TSI_{ko}(T-P) + 0.25 TSI_{ko}(Chl-a) \quad (4)$$

종합 TSI_{ko} 의 결과를 바탕으로 Table 1과 같이 빈영양, 중영양, 부영양, 과영양의 4단계로 영양상태를 분석할 수 있다.

Table 1. Classification of the Korean trophic state index(TSI_{ko})

Degree of eutrophication	Range of TSI_{ko}
Hypertrophic	$TSI_{ko} > 70$
Eutrophic	$50 < TSI_{ko} \leq 70$
Mesotrophic	$30 < TSI_{ko} \leq 50$
Oligotrophic	$TSI_{ko} \leq 30$

3. 결과 및 고찰

3.1 소옥천 지점별 부영양화지수 평가

관측 자료의 수질에 대한 TSI_{ko} 를 계산하고 계절별 평균 값을 산정하여 계절별 한국형 부영양화 지수를 산정하고 영양상태를 4개의 단계로 나누어 분석한 결과는 Table 2와 같다. 소옥천 유역은 주요 토지 이용이 산림과 농업으로 구성된 지역으로 강우시 축산시설 및 농지에서 유입되는 비점오염원의 영향으로 중영양화 이상의 영양상태를 보이며 관측지점별 계절별 부영양 특성은 다음과 같다.

소옥1 지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양~부영양 상태에 있으며 가을이 최대값을 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)와 TSI_{ko} (Chl-a)는 중영양 이하의 영양상태, 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 75.63로 과영양 상태를 나타내고 있다. 소옥1 지점의 가을의 TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 홍수기 농경지에서 대량 배출되는 인의 유입으로 영양염류가 증가하였기 때문으로 분석된다. 소옥2 지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양 상태에 있으며 가을이 최대값을 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)와 TSI_{ko} (Chl-a)는 중영양 이하의 영양상태, TSI_{ko} (T-P)는 부영양 상태를 나타내고 있다. 특히 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 61.44, 여름의 TSI_{ko} (Chl-a)는 53.21로 큰 값을 나타내고 있다. 소옥2

지점의 여름과 가을의 TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 홍수기 농경지에서 대량 배출되는 인의 유입으로 영양염류가 증가하였기 때문으로 분석된다. 추풍 지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양~부영양 상태에 있으며 가을이 최대값을 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)와 TSI_{ko} (Chl-a)는 중영양 이하의 영양상태, TSI_{ko} (T-P)는 중영양~부영양 상태를 나타내고 있다. 특히 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 63.16으로 높은 값을 나타내고 있다. 추풍 지점의 여름과 가을의 TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 홍수기 농경지에서 대량 배출되는 인의 유입으로 영양염류가 많이 증가하였기 때문으로 분석된다. 소옥3 지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양 상태에 있으며 가을이 최대값을 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)와 TSI_{ko} (Chl-a)는 중영양 이하의 영양상태, TSI_{ko} (T-P)는 중영양~부영양 상태를 나타내고 있다. 특히 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 53.73, 봄의 TSI_{ko} (Chl-a)는 50.83으로 높은 값을 나타내고 있다. 소옥3 지점의 봄과 가을의 TSI_{ko} (T-P), TSI_{ko} (Chl-a) 및 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 갈수기시 금산천의 옥천동산, 군서금산 등의 소규모하수처리장에서 발생하는 방류수의 유입으로 영양염류가 증가하였기 때문으로 분석된다. 소옥4 지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양 상태에 있으며 가을이 최대값을 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)는 중영양, TSI_{ko} (Chl-a)는 빈영양~중영양, TSI_{ko} (T-P)는 빈영양~부영양의 상태를 나타내고 있다. 특히, 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 52.58로 높은 값을 나타내고 있다. 소옥4 지점의 여름과 가을의 TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 홍수기 농경지에서 대량 배출되는 인의 유입으로 영양염류가 많이 증가하였기 때문으로 분석된다. 소옥5 지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양 상태에 있으며 가을이 최대값을 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)와 TSI_{ko} (Chl-a)는 중영양, TSI_{ko} (T-P)는 중영양~부영양 상태를 나타내고 있다. 특히 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 67.32로 높은 값을 나타내고 있다. 소옥5 지점의 봄과 가을의 TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 갈수기시 금구천의 옥천귀죽, 옥천가뽕 등의 소규모하수처리장에서 발생하는 방류수의 유입으로 영양염류가 증가하였기 때문으로 분석된다. 소옥6지점의 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD)는 빈영양~중영양, TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (Chl-a)는 중영양~부영양 상태를 나타내고 있다. 특히, 여름의 TSI_{ko} (Chl-a)는 51.15, 여름과 가을의 TSI_{ko} (T-P)는 51.25, 67.32로 높은 값을 나타내고 있다. 소옥6 지점의 여름과 가을의 TSI_{ko} (T-P)와 TSI_{ko} (종합)이 상대적으로 큰 값으로 나타난 것은 홍수기 농경지에서 대량 배출되는 인의 유입과 갈수기시 옥천하수처리장에서 발생하는 방류수의 유입으로 영양염류가 증가하였기 때문으로 분석된다.

추소지점의 TSI_{ko} (종합)는 중영양~부영양로 겨울철에 중영양 상태를 나타내고 있다. 대상항목별 TSI_{ko} 의 분석결과, TSI_{ko} (COD), TSI_{ko} (T-P), TSI_{ko} (Chl-a)는 모두 부영양 이

Table 2. Assessment of trophic status of SoOak river by Korean trophic state index(TSI_{ko})

Site	Parameter	Spring		Summer		Autumn		Winter	
		TSI _{ko}	Evaluation	TSI _{ko}	Evaluation	TSI _{ko}	Evaluation	TSI _{ko}	Evaluation
SoOak1	COD	31.54	Meso	34.22	Meso	43.75	Meso	26.81	Oligo
	T-P	60.77	Eu	58.23	Eu	75.63	Hyper	58.42	Eu
	Chl-a	21.57	Oligo	32.41	Meso	43.89	Meso	20.42	Oligo
	TSI _{ko}	36.36	Meso	39.77	Meso	51.76	Eu	33.11	Meso
SoOak2	COD	36.56	Meso	33.57	Meso	43.59	Meso	33.46	Meso
	T-P	57.85	Eu	55.05	Eu	61.44	Eu	50.54	Eu
	Chl-a	25.95	Oligo	53.21	Eu	34.25	Meso	41.43	Meso
	TSI _{ko}	39.23	Meso	43.85	Meso	45.72	Meso	39.72	Meso
Chupung	COD	32.19	Meso	42.03	Meso	48.32	Meso	22.80	Oligo
	T-P	49.79	Meso	48.06	Meso	63.16	Eu	39.96	Meso
	Chl-a	21.44	Oligo	46.50	Meso	43.40	Meso	46.60	Meso
	TSI _{ko}	33.90	Meso	44.65	Meso	50.80	Eu	33.04	Meso
SoOak3	COD	28.67	Oligo	30.07	Meso	32.39	Meso	28.20	Oligo
	T-P	43.65	Meso	40.91	Meso	53.73	Eu	32.34	Meso
	Chl-a	50.83	Eu	42.62	Meso	35.98	Meso	43.48	Meso
	TSI _{ko}	37.95	Meso	35.92	Meso	38.62	Meso	33.05	Meso
SoOak4	COD	33.58	Meso	31.33	Meso	33.92	Meso	33.46	Meso
	T-P	36.84	Meso	40.88	Meso	52.58	Eu	26.36	Oligo
	Chl-a	21.10	Oligo	36.35	Meso	33.81	Meso	29.77	Oligo
	TSI _{ko}	31.27	Meso	34.97	Meso	38.55	Meso	30.76	Meso
SoOak5	COD	42.39	Meso	33.59	Meso	40.96	Meso	45.67	Meso
	T-P	54.53	Eu	52.45	Eu	67.32	Eu	47.49	Meso
	Chl-a	40.47	Meso	43.45	Meso	48.50	Meso	41.22	Meso
	TSI _{ko}	44.95	Meso	40.77	Meso	49.44	Meso	45.01	Meso
SoOak6	COD	28.19	Oligo	34.63	Meso	37.18	Meso	41.85	Meso
	T-P	37.68	Meso	51.25	Eu	60.83	Eu	40.19	Meso
	Chl-a	38.81	Meso	51.15	Eu	42.71	Meso	45.24	Meso
	TSI _{ko}	33.22	Meso	42.92	Meso	44.48	Meso	42.28	Meso
Chuso	COD	54.02	Eu	52.22	Eu	62.09	Eu	49.64	Meso
	T-P	48.05	Meso	46.35	Meso	55.18	Eu	34.89	Meso
	Chl-a	54.53	Eu	52.14	Eu	63.05	Eu	45.04	Meso
	TSI _{ko}	52.66	Eu	50.73	Eu	60.60	Eu	44.80	Meso

하의 상태를 나타내고 있다. 특히, 봄, 여름과 가을의 TSI_{ko}(Chl-a)는 부영양 상태로 54.53, 52.12, 63.05의 높은 값을 나타내고 있다. 추소 지점의 대상항목별 TSI_{ko}이 부영양 이상의 높은 값을 나타내는 것은 홍수기 농경지에서 대량 배출되는 인의 유입, 갈수기 하수의 유입으로 영양염류의 증가, 만곡이 많은 하도 특성으로 인한 유속저하와 체류시간 증가 등 녹조발생 조건을 두루 갖춘 특성 때문으로 분석되었다.

3.2 소옥천 환경영향 특성 평가

소옥천 분류 8개 지점의 계절에 따른 변동 특성은 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. 봄~겨울까지 TSI_{ko}(COD), TSI_{ko}(Chl-a), TSI_{ko}(종합)의 경우 소옥4지점까지 약간의 변동을 보이며 일정하게 유지되다가 지류의 영향으로 소옥3(금산천)과 소옥5(금구천) 지점에서 증가하며 소옥천 말단 지점인 추소 지점에서 부영양 이상의 영양상태를 나타내고 있다. 봄~가을의

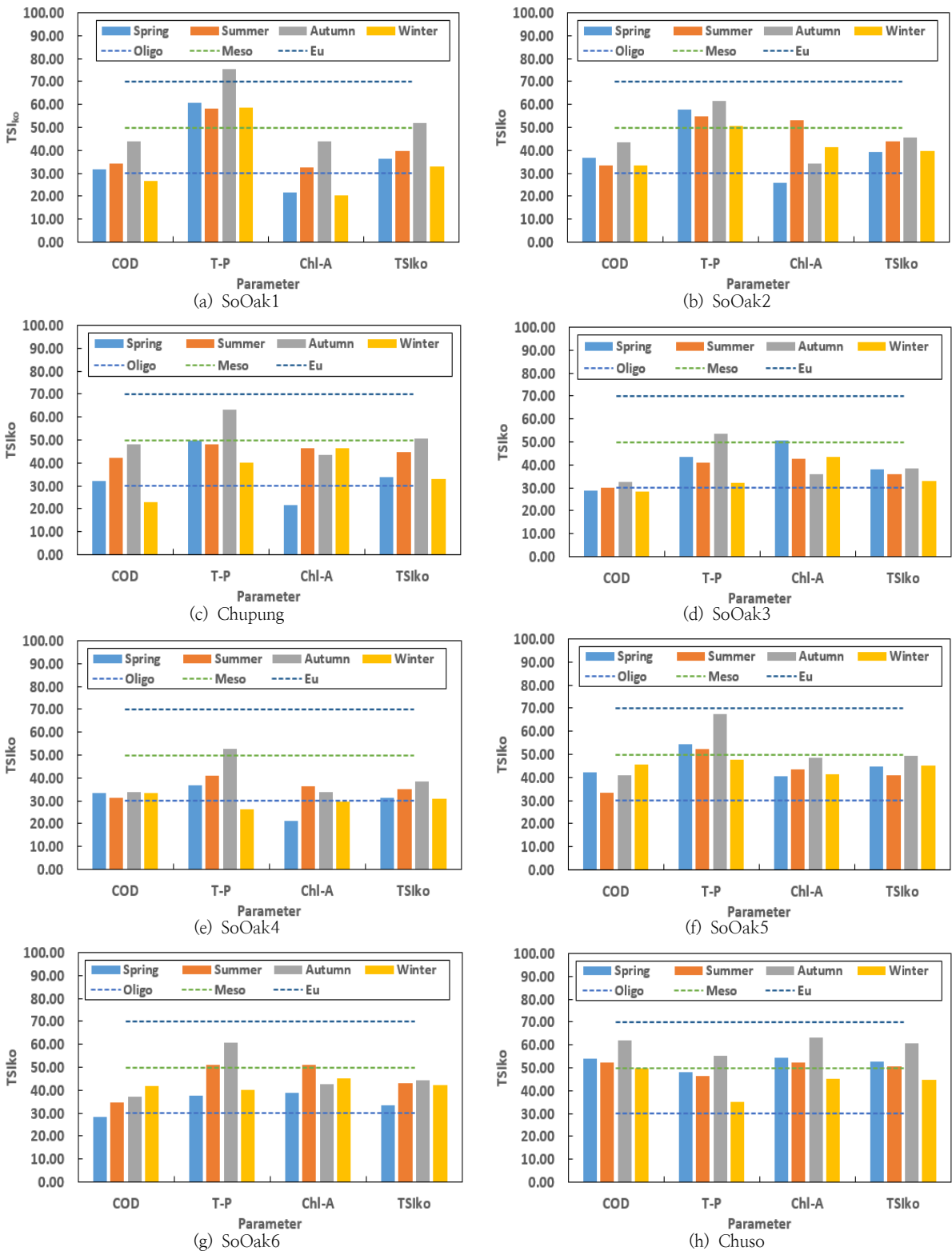


Fig. 2. Characteristics of TSI_{ko} by the seasons in each station

TSI_{ko}(T-P)는 상류 지점인 소옥1 지점에서 봄 60.77, 여름 58.23, 가을 75.63로 부영양~과영양 상태에서 소옥4 지점까지 중영양 상태로 감소하며 금구천이 유입되는 소옥5 지점에서 봄 54.33, 여름 52.45, 가을 67.32, 말단 추소지점에서 봄

48.05, 여름 46.35, 가을 55.18로 중영양~부영양 상태의 특성을 나타내고 있다. 겨울의 TSI_{ko}(T-P)는 상류 소옥1 26.82(빈영양) 상태에서 소옥5 45.67(중영양), 추소 49.64(중영양)로 봄~가을과 다른 영양 특성을 나타내고 있다. 이것은 겨울은

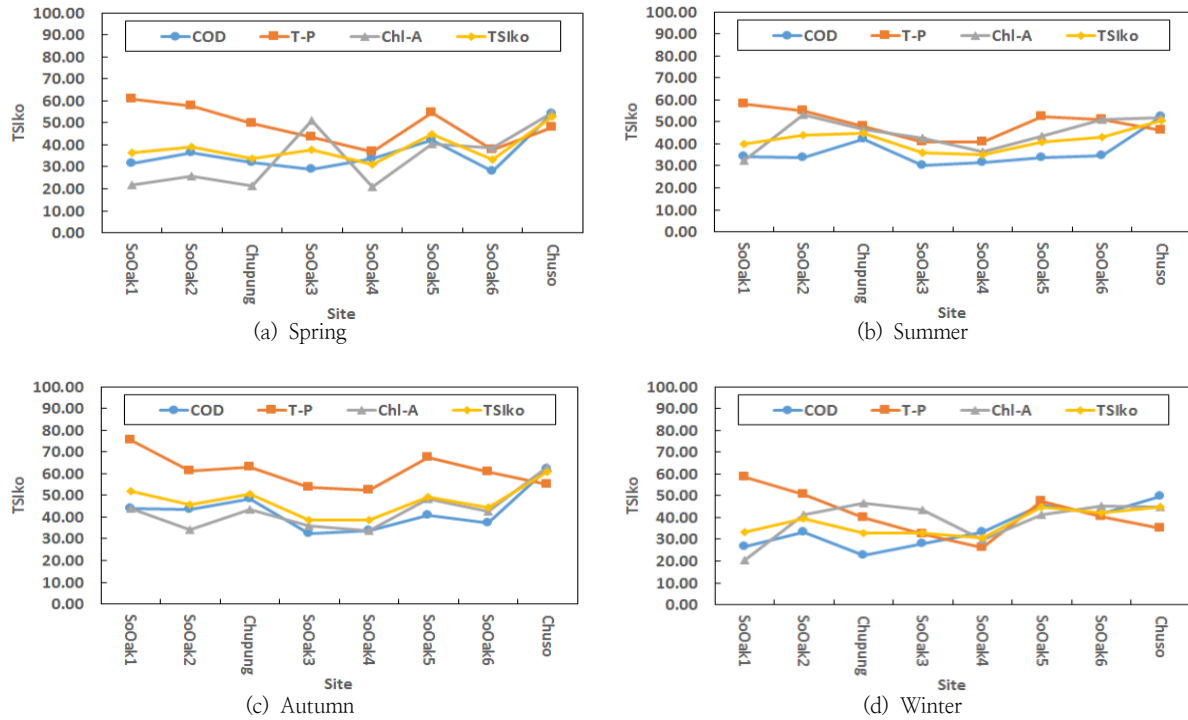


Fig. 3. Spatial distribution of TSIko by the seasons

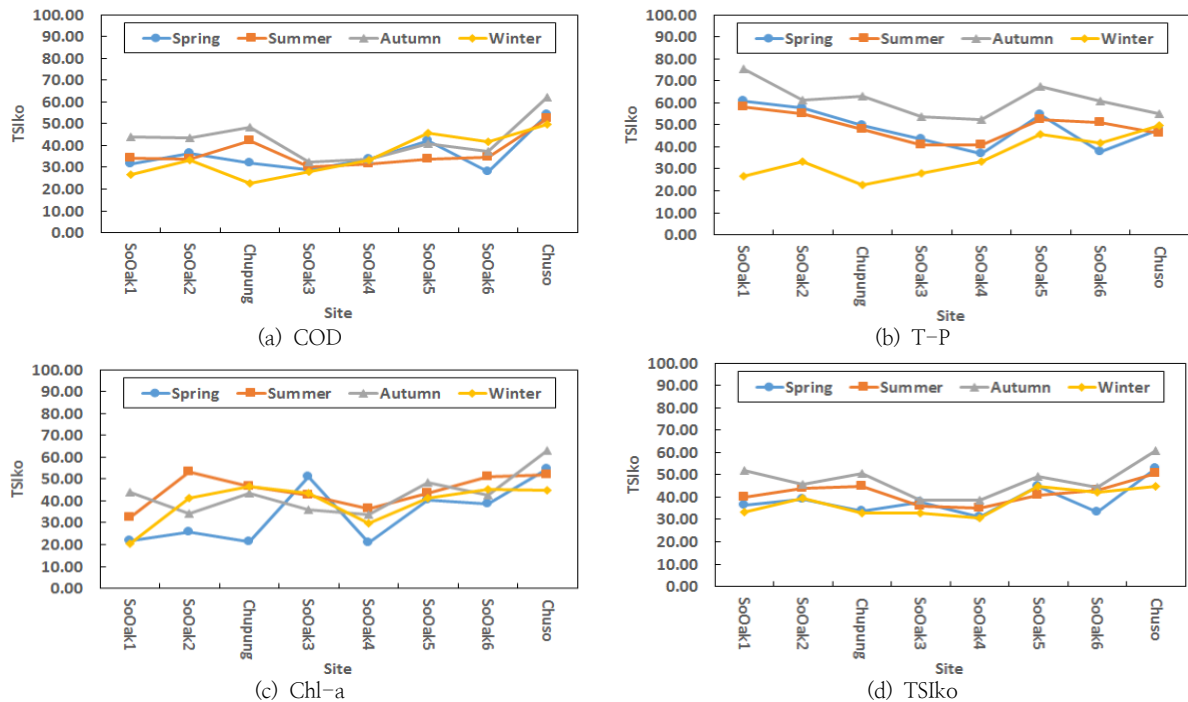


Fig. 4. Spatial distribution of TSIko by the parameter

농업시기가 지난 상태로 밭에서 발생하는 오염원이 적고 강우도 많지 않아 유입되는 오염원이 적기 때문이다.

소옥천 유역의 지점별 나타난 COD, T-P, Chl-a에 의해서 계산된 $TSI_{ko}(COD)$, $TSI_{ko}(T-P)$, $TSI_{ko}(Chl-a)$ 를 이용하여 하천에 대한 환경특성을 다음과 같이 3가지 경우로

분류하여 평가하였다(Ahn et.al, 2013).

첫째, $TSI_{ko}(TP) > TSI_{ko}(Chl-a)$ 의 경우는 총인 이외에도 투명도, 체류시간 등의 다른 요인이 식물플랑크톤의 성장을 제한 할 가능성이 있으며, 동물플랑크톤의 대량번성에 의한 식물플랑크톤이 감소하는 특성을 나타낸다. 봄, 여름, 가을

의 소옥1~소옥5, 여름과 가을의 소옥6, 겨울의 소옥1, 소옥2, 소옥3 지점이 해당한다.

둘째, $TSI_{ko}(COD) > TSI_{ko}(Chl-a)$ 은 유기물의 근원이 주로 외부기원유기물이며 처리되지 않은 하수와 산림이나 농경지의 부식질이 많이 유입되었을 때의 특성을 나타낸다. 소옥천 유역의 봄~겨울의 추소지점이 해당한다.

셋째, $TSI_{ko}(Chl-a) > TSI_{ko}(T-P) > TSI_{ko}(COD)$ 의 경우이며 부상성 조류가 우점하여 수면에 밀접하게 scum을 생성하고 표층자료에 조류가 발생하는 특성을 나타낸다. 봄의 소옥6, 겨울의 추풍, 소옥3, 소옥6 지점이 해당한다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 한국형 부영양화지수(TSI_{ko})를 산정하고 COD, Chl-a, T-P 인자간의 비교를 통해 부영양화 정도를 정량화하고 평가하는데 있다. 소옥천 유역 본류 8개 지점에 대한 한국형 부영양화지수를 산정하고 평가하여 지점에 따른 인자 및 계절별 부영양화 특성을 분석하였다.

본연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 소옥천 유역은 주요 토지 이용이 산림과 농업으로 구성된 지역으로 강우시 축산시설 및 농지에서 유입되는 비점오염원과 청천시 옥천하수처리장, 금산천, 금구천의 소규모 하수처리장에서 유입되는 방류수의 영향으로 중영양화 이상의 영양상태를 보이고 있다.

(2) 봄, 여름, 가을의 소옥1~소옥5, 여름과 가을의 소옥6, 겨울의 소옥1, 소옥2, 소옥3 지점은 $TSI_{ko}(TP) > TSI_{ko}(Chl-a)$ 의 경우로 총인 이외에도 투명도, 체류시간 등의 다른 요인이 식물플랑크톤의 성장을 제한 할 가능성이 있으며, 동물플랑크톤의 대량번성에 의한 식물플랑크톤이 감소하는 특성을 나타낸다.

(3) 추소지점은 $TSI_{ko}(COD) > TSI_{ko}(Chl-a)$ 의 경우로 유기물의 근원이 주로 외부기원유기물이며 처리되지 않은 하수와 산림이나 농경지의 부식질이 많이 유입되었을 때의 특성을 나타낸다. 또한 만곡이 많은 하도 특성으로 인한 유속저하와 체류시간 증가 등 녹조발생 조건을 두루 갖춘 특성을 가지고 있다.

(4) 봄의 소옥6, 겨울의 추풍, 소옥3, 소옥6 지점은 $TSI_{ko}(Chl-a) > TSI_{ko}(T-P) > TSI_{ko}(COD)$ 의 경우로 부상성 조류가 우점하여 수면에 밀접하게 scum을 생성하고 표층자료에 조류가 발생하는 특성을 나타낸다.

(5) 따라서 소옥천 유역의 경우 수심이 얕고 강우시 비점오염 유입, 하수처리장 방류수 유입, 체류시간 증가 등으로 조류가 성장하기 좋은 조건을 갖추고 있으므로 하천에 대한 정밀 모니터링을 통해 원인분석과 이에 따른 수질개선 대책 수립이 우선적으로 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국립환경과학원 금강물환경연구소의 「금강수

계 환경기초조사사업」의 「대청호 상류 비점오염원 모니터링 및 하천 모니터링(I)」을 통해 도출된 결과물입니다.

References

- Ahn, D.H., Han, S.K., Jo, S.J., Lim, M.(2013). Water quality assessment for Geumgang River area using the Korean trophic state index, J. of Korean Society of Water Science and Technology, 21(6), pp.13-20.[Korean Literature] <http://www.riss.kr/link?id=A100119539>
- Aizaki M., Otsuki A., Fukushima T., Kawai T., Hosomi M., Muraoka K. (1981). Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese and its relationships to other parameters related to trophic stage, Research Report from the National Institute for Environmental Studies, 23, pp. 13-31. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03680770.1980.11897067>
- Carlson R. E. (1977). A trophic state index for lakes, Limnol Oceanogr, 22, pp.361-369.
- Cheng, K.S., Lei, T.S., Yeh, H.C., 2001. Reservoir trophic state evaluation using landsat TM images. J. Am. Water Resour. Assoc. 37 (5), pp. 1321-1334. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03642.x>
- Kim, E.S., Sim, K.B., Kim, S.D., Choi, H.I.(2012), Water quality assessment for reservoirs using the Korean Trophic State Index, J. of Korean Society on Water Environment, 28(1), pp.78-83.[Korean Literature] <http://www.riss.kr/link?id=A87025582>
- Kwon, Y.S., Bae, M.J., Kim, J.S., Kim, Y.J., Kim B.H., Park Y.S.(2014), Characterizing changes of water quality and relationships with environmental factors in the selected Korean reservoirs, J. of Ecology and Environment, pp.146-159.[Korean Literature] <http://www.riss.kr/link?id=A100271587>
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2006), Development of a comprehensive evaluation of water environmental research(III) [Korean Literature]
- OECD(1982). Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment and Control. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris. 154pp.
- Park, S.C., Kim, J.O., Lee, W.B., Park, S.H., Lee, S.D.(2017), Characteristics of eutrophication of Yeongsan River area using the Trophic State Index(TSI_{ko}), J. of Korean Society of Water Science and Technology, 26(6), pp.3-15.[Korean Literature] <http://www.riss.kr/link?id=A105051151>
- Petruccio, M.M., Barbosa, F.A.R., Furtado, A.L.S., 2006. Bacterioplankton and phytoplankton production in

seven lakes in the Middle Rio Doce basin, southeast Brazil. *Limnologica* 36 (3), 192-203. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951106000351>

Salas, H.J., Martino, P., 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warmwater tropical lakes. *Water Res.* 25 (3), 341-350. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0043135491900151>